

Segmentación de secuencias de imágenes ecocardiográficas bidimensionales

PROCESAMIENTO DE IMAGENES

J. J. Aranda

Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID), Ciudad de La Habana Cuba

Se expone el algoritmo diseñado para segmentar secuencias de imágenes ecocardiográficas bidimensionales con el objetivo de evaluar cuantitativamente el movimiento de las paredes del ventrículo izquierdo (VI), siendo necesario detectar los contornos endocárdico (interior) y epicárdico (exterior) en cada cuadro de la secuencia del ciclo cardíaco en estudio. El método realiza una segmentación totalmente automática mediante una estimación adaptativa de las zonas donde no hay movimiento. Trabajando con cuadros consecutivos, se estima precisamente -utilizando una memoria adaptativa extraída por filtraje de Kalman-, cuales son estas regiones, lo que aplicado a toda la secuencia brinda una gran calidad en los resultados.

The algorithm designed to segment bidimensional echocardiographic image sequences with the objective of quantifying the wall's motion of the left ventricle (LV), by detecting their inner (endocardic) and outer (epicardic) contours in each picture of the sequence from the heart cycle in study is presented. The method achieves a fully automatic segmentation through an adaptive estimation of the zones where there is no motion. By working with consecutive pictures, a precise calculation of these zones is made through use of an adaptive Kalman filtered memory. When this is applied to the whole sequence, reliable results are obtained.

Recibido: Octubre de 1995

Introducción

La segmentación de las imágenes ecocardiográficas bidimensionales del ventrículo izquierdo (VI) es un paso fundamental a partir del cual se obtienen los contornos endocárdico (interior) y epicárdico (exterior), lo que permite realizar las mediciones del movimiento de las paredes y del cambio del grosor en el estudio de la contractilidad segmentaria.¹

Dada la importancia que tiene el tema, se ha continuado en la búsqueda de soluciones que permitan alcanzar la automatización total de la segmentación con un grado de precisión aceptable por los especialistas y en un tiempo de ejecución prudencial en computadoras 386/486 compatibles.

Es conocido que el estudio de los cambios que se producen en la posición relativa de un objeto con respecto al fondo a lo largo de una secuencia de cuadros brinda una indicación que permite obtener con precisión la forma del objeto. El presente trabajo expone una solución basada en la extracción adaptativa de fondo por filtraje de Kalman.

Método combinado para la segmentación

Dado que las imágenes que se analizan pertenecen a una secuencia, es de interés verla como una secuencia de fondo contaminada por ruido estadístico y el ventrículo en movimiento.²

Sea:

p : Pixel de la imagen.

$B_k \text{est}(p)$: Tono de gris estimado en p del filtro de Kalman.

$B_k \text{med}(p)$: Tono de gris medido en p .

$M_k(p)$: Máscara de objetos detectados.

Para hacer el reconocimiento del VI usando una memoria adaptativa los pasos son:

Paso 0: Inicialización

$$B_1 \text{est}(p) = (I_{\text{máx}} + I_{\text{mín}})/2$$

$$B_1 \text{med}(p) = 0$$

$$M_1(p) = 255$$

Paso 1: Actualización de la medición

$$g_k(p) = \alpha M_k(p) + \beta [1 - M_k(p)]$$

siendo $0,001 < \alpha < 0,01$ y $0,01 < \beta < 0,1$

Si α es muy pequeña, el sistema pierde adaptabilidad, mientras que si β es muy grande se introducen más rápidamente variaciones a la secuencia de fondo y se pierde la propiedad de reducción de ruidos. Para este trabajo se tomaron $\alpha = 0,01$ y $\beta = 0,1$ debido a la gran movilidad de las paredes del VI.

$$\begin{bmatrix} B_k \text{correc. est}(p) \\ B_k \text{correc. med}(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_k \text{est}(p) \\ B_k \text{med}(p) \end{bmatrix} + G_k(p) I_k - H \begin{bmatrix} B_k \text{est} \\ B_k \text{med} \end{bmatrix}$$

donde:

$H = (1,0)$: Matriz de medición en el filtro de Kalman, si se considera que la razón de cambio no es directamente medible de la secuencia de imágenes de entrada.

G : Vector de ganancia del filtro cuyos componentes se asumen idénticos para simplificar:

$$G_k(p) = [g_k(p) \cdot g_k(p)]^T$$

Si se calcularan de acuerdo con la teoría serían aproximadamente iguales en la mayoría de las veces.

Paso 2: Predicción del fondo

$$\begin{bmatrix} B_{k+1} \text{est}(p) \\ B_{k+1} \text{med}(p) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} B_k \text{correc. est}(p) \\ B_k \text{correc. med}(p) \end{bmatrix}$$

donde:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix}$$

siendo:

a_{12} : Conocimiento que se tiene de la variación de la intensidad del fondo.

a_{22} : Dinámica de la razón de cambio del fondo.

Para este trabajo se tomó $a_{12} = a_{22} = 0,25$, debido a que existe una variación apreciable en el movimiento que provoca la aparición de zonas de fondo en regiones que en el cuadro anterior son VI y viceversa.

Paso 3: Detección de VI

$$D_{k+1}(p) = \text{abs} [I_{k+1}(p) - B_{k+1} \text{est}(p)]$$

poniendo un umbral a esta diferencia para generar la máscara del ventrículo izquierdo.

$$M_{k+1}(p) = \begin{cases} 255 & \text{si } D_{k+1}(p) \geq \text{maxdif} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

tomándose $\text{maxdif} = 16$ para este trabajo.

Este proceso de filtraje adaptativo se realiza para todos los cuadros de la secuencia.

Resultados

Para las pruebas se utilizó una computadora 386 DX-33 compatible sin coprocesador aritmético, con una tarjeta digitalizadora de 241 líneas con 256 pixeles por

línea y 256 posibles tonos de gris por pixel.

Las imágenes se obtuvieron de un casete BetaMax grabado en el hospital Hermanos Ameijeiras.

Los tiempos de ejecución de la estimación del fondo utilizando memoria adaptativa por filtraje de Kalman para secuencias de cuatro cuadros fueron:

Vista apical: 1 min 3,82 s
Vista mitral: 1 min 2,89 s
Vista papilar: 1 min, 3,94 s

obteniéndose una frecuencia promedio de 0,062 cuadros por segundo lo que si bien es un tiempo aceptable, debe mejorar notablemente si se utiliza un coprocesador 80387 ó si se trabaja con un 486 compatible.

Las figuras 1, 2 y 3 muestran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo la máscara del VI que se va obteniendo a lo largo de la secuencia como resultado de la estimación adaptativa del fondo utilizando filtraje de Kalman para las tres vistas típicamente estudiadas (apical, mitral y papilar).

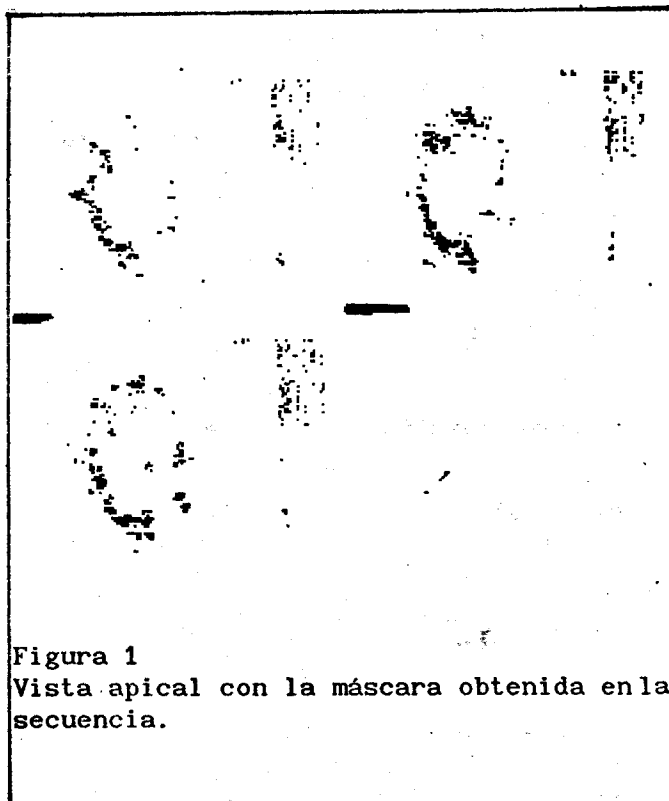


Figura 1
Vista apical con la máscara obtenida en la secuencia.

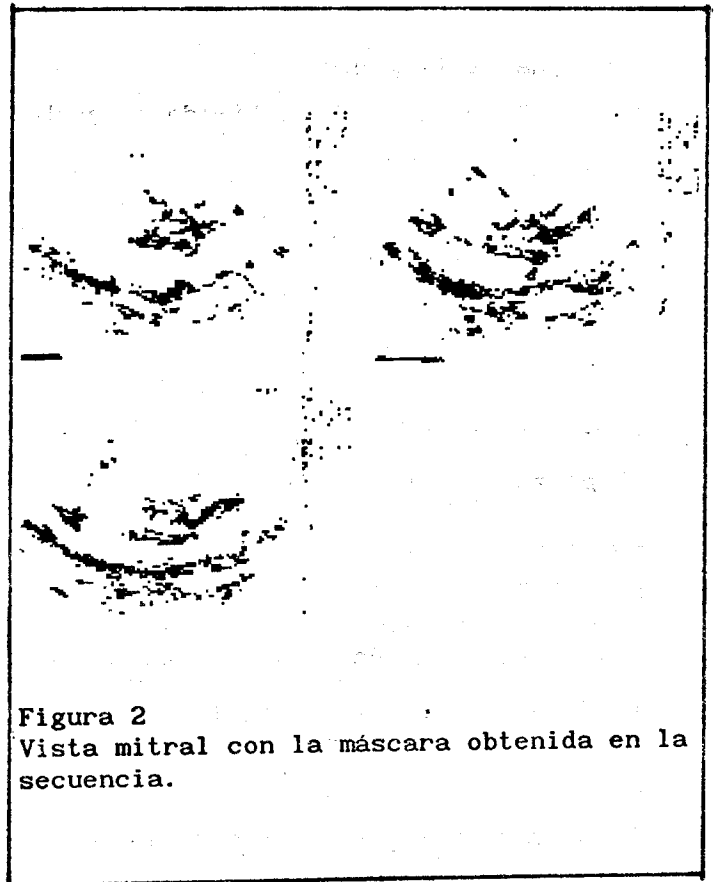


Figura 2
Vista mitral con la máscara obtenida en la secuencia.

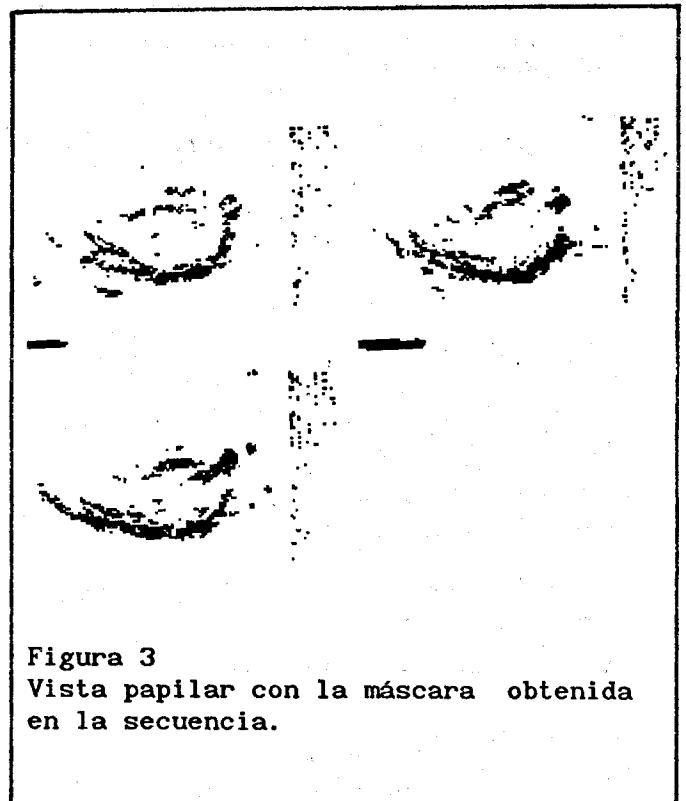


Figura 3
Vista papilar con la máscara obtenida en la secuencia.

Conclusiones

Como conclusión, se dispone de un método que de forma totalmente automatizada garantiza una precisión aceptable en la obtención de los contornos endocárdico y epicárdico del VI en secuencias de imágenes ecocardiográficas bidimensionales.

Agradecimiento

Se desea reconocer el apoyo brindado por los especialistas en Ecocardiografía, doctor Carlos Ramos Emperador y doctor Juan Prohías Martínez, del Servicio de Cardiología del Hospital Hermanos Ameijeiras en la obtención de las imágenes.

Referencias

1. ARANDA ABOY, J. J.; G. MONTES DE OCA COLINA Y G. RODRIGUEZ BENITEZ: "Ne-

cesidad y factibilidad del estudio automatizado de secuencias de imágenes ecocardiográficas bidimensionales", *Revista Ingenieria Electrónica, Automática y Comunicaciones*, Vol. XIV, No. 2, pp. 73-78, 1993.

2. KARMANN, K-P & VON A. BRANDT: "Moving Object Recognition Using an Adaptive Background Memory", *Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition*, 2nd., ed., pp. 289-296, Capellini, V. Elsevier, 1990.

JUAN JOSE ARANDA ABOY, Licenciado en Ciencias de la Computación, Investigador Auxiliar, Profesor Auxiliar Adjunto, Trabaja en investigaciones sobre detección automática de contornos en imágenes médicas